

УДК 621.919.2

Е.К. Посвятенко, д-р техн. наук, П.А. Аксьом,
Н.І. Посвятенко, канд. техн. наук, Київ, Україна

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ХОЛОДНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ І РОСЛИННИХ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АУСТЕНИТНИХ СТАЛЕЙ

В даній статті запропоновано математичну модель оброблюваності аустенітних сталей, яку перевірено на адекватність експериментально. Встановлено, що основними факторами, які визначають оброблюваність, є попереднє холодне пластичне деформування (ХПД) у поєднанні зі застосуванням мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) на рослинній основі. Для реалізації ХПД розроблено метод поперечного об'ємного стиску. Визначено провідну роль дислокацій у поліпшенні оброблюваності.

В данной статье предложена математическая модель обрабатываемости аустенитных сталей, которая проверена на адекватность экспериментально. Установлено, что основными факторами, которые определяют обрабатываемость, являются холодная пластическая деформация (ХПД) в сочетании с применением смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на растительной основе. Для реализации ХПД разработан метод поперечного объёмного сжатия. Определена ведущая роль дислокаций в улучшении обрабатываемости.

In this article it is proposed a mathematical model for the processing of austenitic steels, which is tested for adequacy experimentally. It has been established that the main factors which determine the workability are cold plastic deformation (CPD) combined with the use of vegetable-based lubricating coolants. To implement the CPD, a transverse volume compression method has been developed. The leading role of dislocations in improving machinability is determined.

Сталі аустенітного класу (жаро-, корозійно- та зносостійкі) мають виключно низьку оброблюваність різанням. Це обмежує застосування таких сталей у точних деталях машин. Більшість виробів із аустенітних сталей використовуються у техніці без фінішної механічної обробки. З метою розширення номенклатури деталей, нами проведено комплексне дослідження, кінцевим результатом якого було поліпшення оброблюваності аустенітних сталей різанням.

Класиками науки про механіку різання металів, якими є Розенберг О.М., Зорєв М.М., Полетика М.Ф., Лоладзе Т.М. та ін., показано, що коефіцієнт усадки стружки ξ та довжина повного контакту стружки з передньою поверхнею інструменту s можуть надійно свідчити про оброблюваність того чи іншого металу [1-3]. Зменшення цих показників однозначно означатиме поліпшення оброблюваності.

Виходячи з цих передумов та враховуючи наші попередні дослідження [4-8], встановлено, що у зоні низьких та середніх швидкостей різання, характерних для обробки складним інструментом із швидкорізальної сталі

(протягування, нарізання різьби, довбання тощо), факторами сильного впливу на оброблюваність аустенітних сталей є попередня обробка останніх холодним пластичним деформуванням (ХПД) та введення у зону різання рослинних мастильно–охолоджувальних рідин (МОР). Дещо слабше діє на процес швидкість різання, а інші фактори, у тому числі і передній кут, майже не впливають на оброблюваність у діапазоні досліджуваних факторів.

Для опису об'єкту дослідження, тобто оброблюваності аустенітних сталей була використана кібернетична схема “чорний ящик”. В результаті побудована математична модель:

$$y = 3,786 + 0,81x_1 - 0,09x_2 + 0,13x_3 + 0,07x_1x_2 + 0,09x_1x_3 + 0,27x_2x_3 + 0,11x_1x_2x_3 \quad (1)$$

Фактори ХПД (HV , H_μ – МПа), МОР (вид) та швидкість різання (м/с) позначено відповідно символами x_1 , x_2 та x_3 . Коефіцієнти рівняння знайдено розрахунками та з експериментів, причому похибка була менше допустимої (4%). Таким чином, математична модель (1) є адекватною.

Роль попереднього ХПД полягає у тому, що при проведенні процесу виконується частина роботи, яку мала б виконати обробка різанням недеформованої аустенітної сталі. Використання середовища рослинного походження поліпшує контактні процеси на передній поверхні інструменту. Отже, в результаті отримуємо подвійний позитивний ефект: з боку зони стружкоутворення через попереднє об'ємне ХПД, а з боку контактної зони – через ефективне екологічно чисте рослинне середовище.

У процесі досліджень застосовувався запропонований нами новий ефективний, але простий метод поперечного стиску оброблюваного матеріалу [9], що забезпечувало необхідну кількість цього матеріалу для експериментів. Величина попередньої холодної деформації регулювалась у широких діапазонах. Для цього було достатньо гідравлічного пресу зусиллям 200 тс.



Рисунок 1 – Установка для отримання металографічних шліфів

На рис. 1 показано установку для отримання металографічних шліфів Beta Grinder–Polisher, виробництва фірми Buehler, що знаходиться в НТУУ “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, яка використовувалася нами у дослідницькій роботі.

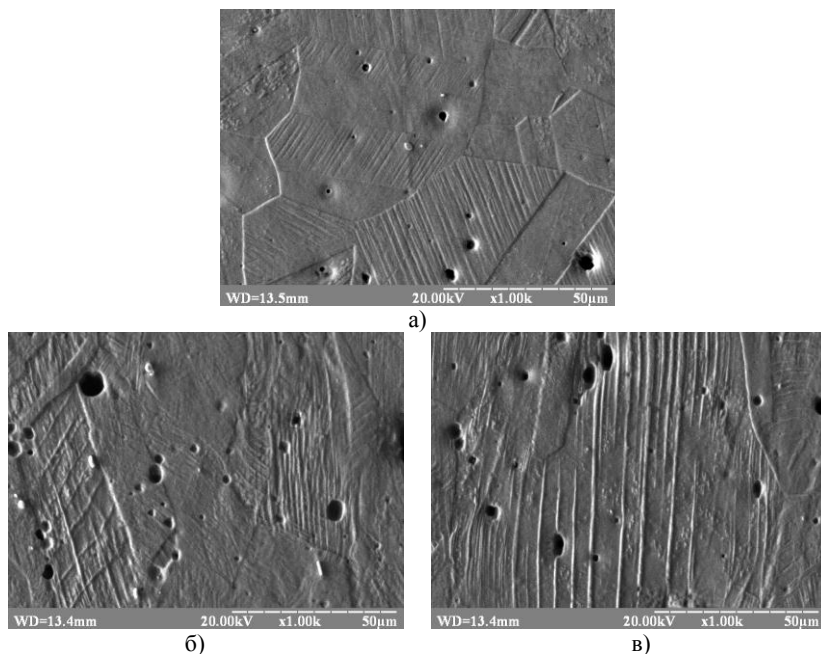


Рисунок 2 – Розподіл дислокацій (крупні темні ямки – скупчення дислокацій) по зразках із аустенітної сталі 08X18H10:
а – у початковому стані; б, в – після об’ємного ХПД ($\varepsilon = 46\%$)

Теорія та практика обробки матеріалів різанням передбачає для осучаснення даної науки перехід від чисто феноменологічних методів до фізичних. У нашому дослідженні також використано дане положення. Виходячи з цього, було проведено серію точних експериментів із застосуванням електронної мікроскопії за допомогою мікроскопа РЕМ–106И. Метою цих експериментів було виявлення впливу об’ємного ХПД на густину дислокацій у аустенітних сталях.

На рис. 2, як приклад, подано розподіл дислокацій по глибині зразків із сталі 08X18H10 (AISI 304) у початковому (рис. 2а) та після обробки ХПД з деформацією $\varepsilon = 46\%$ стані (рис. 2б,в).

Обробка мікрошліфів за відомими методиками показала, що густина дислокацій ρ в результаті обробки зразків об’ємним ХПД збільшується приблизно у 4 рази.

Скупчення дислокацій служить основою для формування мікротріщин у матеріалі, що сприяє поліпшенню оброблюваності різанням аустенітних сталей.

Було проведено серію експериментів по виявленню впливу МОР на процес вільного ортогонального різання досліджуваних сталей марок 12Х15Г9НД, 08Х18Н10, 40Х13 та 110Г13Л, різцем із сталі Р6М5 з переднім кутом $\gamma = 15^\circ$ та швидкістю 0,2 м/с з товщиною зрізу 0,03 мм. Як МОР використовувались сульфозфрезол Р, три види олій (ріпака, льону та соняшнику); для порівняння різання здійснювалось також без МОР. Попереднє ХПД виконувалась за методом поперечного об'ємного стиску з величиною $\varepsilon = 46\%$.

Результати експериментів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив попереднього холодного пластичного деформування та виду МОР на усадку стружки ζ та повну довжину контакту стружки з передньою поверхнею інструменту c

Марка сталі	ХПД, $\varepsilon = 46\%$	Мастиль-охолоджуюча рідина (МОР)									
		Без МОР		Сульфо-фрезол Р		Ріпакова олія		Олія льону		Соняшникова олія	
		ζ	c , мм	ζ	c , мм	ζ	c , мм	ζ	c , мм	ζ	c , мм
12Х15Г9НД (AISI 201)	Незміцнена $HV = 3,70$ ГПа	3,9	0,19	2,85	0,12	2,34	0,09	2,44	0,10	2,36	0,09
	Зміцнена $HV = 4,96$ ГПа	3,2	0,14	2,68	0,11	2,15	0,08	2,17	0,08	2,28	0,08
08Х18Н10 (AISI 304)	Незміцнена $HV = 2,32$ ГПа	4,2	0,22	2,91	0,12	2,41	0,09	2,50	0,10	2,43	0,10
	Зміцнена $HV = 3,85$ ГПа	3,6	0,17	2,76	0,11	2,25	0,08	2,26	0,08	2,36	0,09
40Х13 (AISI 420)	Незміцнена $HV = 2,14$ ГПа	4,6	0,25	3,15	0,14	2,66	0,11	2,70	0,11	2,68	0,11
	Зміцнена $HV = 3,15$ ГПа	3,9	0,19	3,00	0,13	2,47	0,10	2,46	0,10	2,58	0,10
110Г13Л (A128)	Незміцнена $HV = 6,00$ ГПа	5,1	0,29	3,75	0,18	3,31	0,15	3,35	0,15	3,36	0,15
	Зміцнена $HV = 3,85$ ГПа	4,5	0,24	3,56	0,17	3,13	0,14	3,15	0,14	3,25	0,14

Аналіз результатів експериментів показує, що всі види олій дають приблизно однакові результати щодо поліпшення оброблюваності аустенітних сталей. Тому у подальшому, керуючись вартістю олій, вибираємо найдешевшу – ріпакову. Порівняння цієї олії з найпоширенішим традиційним для процесів різання, що розглядаються, сульфозфрезолом Р, дало наступні результати. Сумісна дія ХПД і середовища при різанні аустенітної сталі 12Х15Г9НД знижує коефіцієнт усадки стружки на 25%, а повної довжини контакту – на 34%. При обробці аустенітної сталі 08Х18Н10 ці показники відповідно такі: зниження ζ на 24%, а c – на 34%. Обробка зносостійкої аустенітної сталі 110Г13Л характеризується наступними результатами: зменшення коефіцієнта усадки стружки на 16%, а повної довжини контакту – на 22%. Різання контрольної марки феритної нержавіючої сталі 40Х13 також показало поліпшення оброблюваності: ζ на 21% і c на 29%.

Отже, попереднє ХПД у поєднанні з використанням сучасних МОР на рослинній основі є потужним засобом поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей. Це, наприклад, видно із рис. 3, де представленні фрагменти процесу стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 12Х15Г9НД, зміцненою поперечним стиском у середовищі ріпакової олії (а) та сульфозфрезолу Р (б). Поліпшення оброблюваності цієї сталі характеризується, крім зменшення довжини контакту стружки по передній поверхні інструменту і коефіцієнту усадки стружки, меншим радіусом завитка останньої на 28%.



Рисунок 3 – Фрагменти стружкоутворення при вільному ортогональному різанні сталі 12Х15Г9НД (AISI 201), зміцненої по схемі поперечного стиску з деформацією 46%, у середовищі ріпакової олії (а) та сульфозфрезолу Р (б)

Для повернення початкових властивостей деталей із аустенітних сталей (високої жаро-, корозійно- та зносостійкості) автори рекомендують як заключну операцію прецизійну термообробку, наприклад, високе відпускання з мінімальними термічними деформаціями деталей.

Висновок

Для підвищення оброблюваності аустенітних сталей рекомендується застосовувати попереднє об'ємне ХПД з використанням екологічно чистих мастил рослинного походження. Таке поєднання дозволяє отримати сумісний позитивний ефект при різанні з боку зони стружкоутворення і контактної зони на передній поверхні інструменту. Поліпшення оброблюваності при використанні попереднього ХПД пояснюється збільшенням густини дислокацій, об'єднання яких призводить до появи мікротріщин у оброблюваному матеріалі. Повернення початкових високих експлуатаційних властивостей виробів із аустенітних сталей (жаро-, корозійно- та зносостійкості) рекомендується застосуванням прецизійної фінішної термообробки, наприклад, високого відпускання.

Список використаних джерел: 1. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Ерёмин. – М.; Свердловск: Mashgiz, 1956. – 318 с. 2. Развитие науки о резании металлов / [коллектив авторов]; под ред. Н.Н. Зорева. – М.: Машиностроение, 1967. – 416 с. 3. Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента / М. Ф. Полетика. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с. 4. Посвятенко Е.К. Основні напрямки поліпшення оброблюваності деталей із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом, Р.В. Будяк // Вісник Національного транспортного університету. Серія: “Технічні науки”. – 2016. – №1 (34). – С. 370-377. 5. Посвятенко Е.К. Особливості обробки деталей засобів транспорту із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом // Вісник Національного транспортного університету. Серія: “Технічні науки”. – 2015. – №1 (31). – С. 443-449. 6. Посвятенко Е.К. Відновлення деталей засобів транспорту із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом // Вісник Національного транспортного університету. Серія: “Технічні науки”. – 2015. – №2 (32). – С. 210-218. 7. Посвятенко Е.К. Розробка наукових основ поліпшення оброблюваності деталей транспортних засобів із аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, П.А. Аксьом // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал, випуск 18, 2016, частина 1: серія “Технічні науки”. – С. 94-100. 8. Посвятенко Е.К. Про фізичну природу поліпшення оброблюваності аустенітних сталей / Е.К. Посвятенко, Н.І. Посвятенко, П.А. Аксьом // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 17-й Международной научно-технической конференции, 29 мая – 02 июня 2017 г., г. Одесса – Киев: АТМ Украина, 2017. – С. 153-157. 9. Аксьом П.А. Дослідження холодного пластичного деформування методом поперечного стискання / П.А. Аксьом // Теорія та практика раціонального проектування виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Матеріали конференції. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. – 2016. – С. 16-17.

Bibliography (transliterated): 1. Rozenberg A.M., Erjomin A.N. Jelementy teorii processa rezanija metallov. – M.; Sverdlovsk: Mashgiz, 1956. – 318 s. 2. Razvitie nauki o rezanii metallov / [kollektiv avtorov]; pod red. N.N. Zoreva. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 416 s. 3. Poletika M. F. Kontaknyje nagruzki na rezhushhih poverhnostjeh instrumenta. – Moskva: Mashinostroenie, 1969. – 148 s. 4. Posvjatenko E.K., Aks'om, P.A., Budjak R.V. Osnovni naprjamki polipshennja obroblyvanosti detalej iz austenitnih stalej / Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. Serija: “Tehnichni nauki”. – 2016. – №1 (34). – S. 370 – 377. 5. Posvjatenko E.K., Aks'om P.A. Osoblivosti obrobkі detalej zasobiv transportu iz austenitnih stalej / Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. Serija: “Tehnichni

nauki”. – 2015. – №1 (31). – S. 443 – 449. 6. Posvjatenko E.K., Aks'om P.A. Vidnovlennja detalej zasobiv transportu iz austenitnih stalej / Visnik Nacional'nogo transportnogo universitetu. Serija: “Tehnichni nauki”. – 2015. – №2 (32). – S. 210 – 218. 7. Posvjatenko E.K., Aks'om P.A. Rozrobka naukovih osnov polipshennja obrobľjuvanosti detalej transportnih zasobiv iz austenitnih stalej / Upravlinnja proektami, sistemnij analiz i logistika. Naukovij zhurnal, vipusk 18, 2016, chastina 1: serija “Tehnichni nauki”. – S. 94 – 100. 8. Posvjatenko E.K., Posvjatenko N.I., Aks'om P.A. Pro fizichnu prirodu polipshennja obrobľjuvanosti austenitnih stalej / Inzhenerija poverhnosti i renovacija izdelij: Materialy 17-j Mezhdunarodnoj nauchno–tehnicheskoy konferencii, 29 maja – 02 ijunya 2017 g., g. Odessa – Kiev: ATM Ukraina, 2017. – S. 153 – 157. 9. Aks'om P.A. Doslidzhennja holodnogo plastichnogo deformuvannja metodom poperechnogo stiskannja / Teorija ta praktika racional'nogo proektuvannja vigotovlennja i ekspluatacii mashinobudivnih konstrukcij: Materiali konferencii. – L'viv: KINPATRI LTD. – 2016. – S. 16-17.